

EUROPEAN PATENT OFFICE

D3

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 08120407
PUBLICATION DATE : 14-05-96

APPLICATION DATE : 18-08-95
APPLICATION NUMBER : 07210661

APPLICANT : KOBE STEEL LTD;

INVENTOR : MIYAMOTO ATSUYUKI;

INT.CL. : C22C 38/00 C21D 9/56

TITLE : STEEL WIRE HAVING HIGH STRENGTH, HIGH TOUGHNESS, AND HIGH DUCTILITY
AND ITS PRODUCTION

ABSTRACT : PURPOSE: To produce a steel wire with high strength, high ductility, and high toughness, in which deterioration in strength at the time of temp. rise treatment at plating, etc., and superior strength is produced and which has excellent ductility and high toughness and causes no longitudinal crack, e.g. at the time of twisting, from a quite new standpoint different from the preconceived idea indicated by the conventional technique.

CONSTITUTION: This steel wire is essentially composed of one or more structures selected from the group consisting of fine pearlite, pseudo-pearlite, and bainite, and further, the average grain size of carbides in the structure is regulated to 10-50nm, preferably 10-30nm.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO

BEST AVAILABLE COPY

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-120407

(43)公開日 平成8年(1996)5月14日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
C 2 2 C 38/00	3 0 1 Y			
C 2 1 D 9/56	1 0 2			

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 14 頁)

(21)出願番号 特願平7-210661

(22)出願日 平成7年(1995)8月18日

(31)優先権主張番号 特願平6-207437

(32)優先日 平6(1994)8月31日

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(71)出願人 000001199
株式会社神戸製鋼所
兵庫県神戸市中央区脇浜町1丁目3番18号

(72)発明者 鹿磯 正人
兵庫県神戸市灘区灘浜東町2番地 株式会
社神戸製鋼所神戸製鉄所内

(72)発明者 茨木 信彦
兵庫県神戸市灘区灘浜東町2番地 株式会
社神戸製鋼所神戸製鉄所内

(72)発明者 槇井 浩一
兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5番5号
株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内

(74)代理人 弁理士 植木 久一

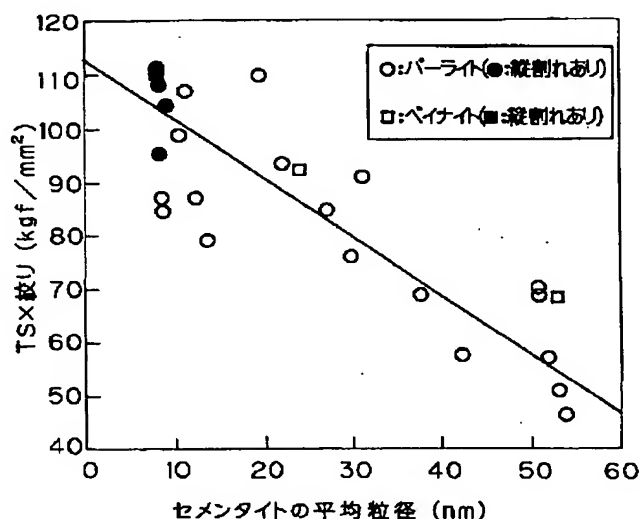
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 高強度高靱・延性鋼線およびその製造方法

(57)【要約】

【課題】 めっき時等の昇温処理の際における強度低下を抑制して優れた強度を発揮することができると共に延性にも優れ、且つ高靱性を示して捻回時等に縦割れを発生しない様な高強度高靱・延性鋼線材を実現しようとするものであり、しかも従来技術に開示された既成概念とは違う全く新しい観点からそれを達成する。

【解決手段】 微細パーライト、擬似パーライトおよびベイナイトよりなる群から選ばれる1種以上の組織を主体とする鋼線であり、前記組織中の炭化物の平均粒径が10～50nm、好ましくは10～30nmである。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 微細パーライト、擬似パーライトおよびベイナイトよりなる群から選ばれる 1 種以上の組織を主体とした鋼線であり、前記組織中の炭化物の平均粒径が 10～50 nm であることを特徴とする高強度高靱・延性鋼線。

【請求項 2】 微細パーライト組織を主体とした鋼線であり、前記微細パーライトを構成するラメラセメント中のセメント結晶粒の平均粒径が 10～50 nm*

$$2.14 \times \ln R + 6.56 \leq D \leq 2.14 \times \ln R + 46.6 \quad \dots (1)$$

【請求項 5】 前記組織中の炭化物の平均粒径 D (μm) と線径 R (mm) が、下記 (2) 式の関係満足す※

$$2.14 \times \ln R + 6.56 \leq D \leq 2.14 \times \ln R + 26.6 \quad \dots (2)$$

【請求項 6】 微細パーライト組織を主体とした鋼線であり、前記微細パーライトを構成するラメラセメント中のセメント結晶粒の平均粒径 D が前記 (1) 式または (2) 式を満足するものである請求項 4 または 5 に記載の高強度高靱・延性鋼線。

【請求項 7】 請求項 1～6 のいずれかに記載の高強度高靱・延性鋼線を製造するにあたり、伸線における真歪 ε を 1.0～5.0 とすると共に、最終均熱温度 T_B を★

$$D = -108.7 - 12.9 \times [Si] + 16.4 \times \varepsilon + 0.320 \times T_B - 17.6 \times \log H_R \quad \dots (3)$$

但し、[Si]：鋼線中の Si 含有量 (質量%)

H_R：T_B - 100℃ から T_B - 20℃ 間までの平均加熱速度 (℃/秒)

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、PC 鋼線、亜鉛めっき鋼線、ばね用鋼線、吊り橋用ケーブル等に代表される高炭素溶融めっき鋼線や、スチールコードワイヤ等に代表される 2 相めっき拡散熱処理を受ける高炭素鋼線、即ち冷間加工後に昇温処理を受ける鋼線、およびその様な鋼線を製造する為の方法に関するものであり、特にめっき時の昇温処理の際における強度低下を抑制して優れた強度を発揮すると共に、靱性および延性にも優れた高強度高靱・延性鋼線およびその製造方法に関するものである。尚本発明で対象とする鋼線は、上記の様な高炭素鋼線に限らず、後記実施例に示す様な C 含有量が 0.6% 程度の中炭素鋼線も含む趣旨であるが、以下では高炭素鋼線を代表的に取り上げて説明を進める。

【0002】

【従来の技術】耐食性が要求される PC 鋼線や吊り橋用ケーブル等を製造するに当たっては、高炭素鋼線にパテント処理を行なった後伸線加工し、その後溶融亜鉛めっき等が施されるのが一般的である。こうした製造工程において、鋼線は伸線加工時に高強度化が図られるのであるが、溶融めっき時の昇温処理の際に強度が低下してしまうという問題がある。また伸線によって強度を高めれば高める程、めっき処理時の強度低下が大きくな

* である請求項 1 に記載の高強度高靱・延性鋼線。

【請求項 3】 平均粒径が 10～30 nm である請求項 1 または 2 に記載の高強度高靱・延性鋼線。

【請求項 4】 微細パーライト、擬似パーライトおよびベイナイトよりなる群から選ばれる 1 種以上の組織を主体とした鋼線であり、前記組織中の炭化物の平均粒径 D (μm) と線径 R (mm) が、下記 (1) 式の関係満足するものであることを特徴とする高強度高靱・延性鋼線。

※ るものである請求項 4 に記載の高強度高靱・延性鋼線。

★ 700℃ 以下にして操作することを特徴とする高強度高靱・延性鋼線の製造方法。

【請求項 8】 最終均熱温度 T_B が 300～500℃ である請求項 7 に記載の製造方法。

【請求項 9】 平均粒径 D (μm) が下記 (3) 式を満足する様に操作する請求項 7 または 8 に記載の製造方法。

る傾向があり、結果的にめっき鋼線の高強度化は困難であるという問題がある。

【0003】上記のような溶融めっき等の昇温処理が施される高炭素鋼線の強度を高める手段としては、Si を高めに添加することが有効であることが知られている。即ち、Si の添加は、パテント処理後の鋼線強度を上昇させて伸線後の鋼線強度も上昇させる効果と、鋼線の焼入れ性を向上させて初析セメントの析出を抑制する効果もある。しかも Si は、めっき処理時における強度低下を抑制し、溶融めっき鋼線の高強度化には非常に有効な元素であると言われている。こうした観点から、溶融めっきが施される鋼線に Si を高めに添加する技術が、これまでも数多く提案されている。例えば特開平 4-246125 号には、Si を最大 1.3% まで添加した鋼線に溶融めっきを施し、その後矯正およびブルーイングを施すことが開示されている。また特開平 4-325627 号には、伸線加工量に応じて Si 添加量を限定することが開示されている。更に、特開平 6-33855 号には、鋼線強度や線径に応じて Si 添加量を制御することが開示されている。

【0004】一方、上記のような溶融めっき鋼線において、その靱性を評価するうえで重要な特性の一つである捻回試験時における縦割れ発生最高強度は、鋼線の線径に依存していることが知られており、線径が大きくなればなる程その縦割れ発生限界強度は低下する。こうした観点から、例えば特開平 3-249129 号には、機械的に矯正を加えて縦割れの発生を抑制する技術が提案さ

れている。

【0005】即ち、鋼線の高強度や高靱性を達成する為にこれまで提案されてきた技術は、高炭素鋼線の化学成分組成や製造条件を適正化するものが殆どである。また上記の様な鋼線は、延性に優れていることも重要である。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】本発明は上記の様な事情に着目してなされたものであって、めっき時等の昇温処理の際における強度低下を抑制して優れた強度を発揮すると共に延性にも優れ、且つ高靱性を示して捻回時等に縦割れを発生しない様な高強度高靱・延性鋼線を実現しようとするものであり、しかも従来技術に開示された既成概念とは違う全く新しい観点からそれを達成することにある。

【0007】

$$2.14 \times 10^3 R + 6.56 \leq D \leq 2.14 \times 10^3 R + 46.6 \quad \dots (1)$$

この高強度高靱・延性鋼線においては、前記組織中の炭化物の平均粒径D (μm) と線径R (mm) が、下記※

$$2.14 \times 10^3 R + 6.56 \leq D \leq 2.14 \times 10^3 R + 26.6 \quad \dots (2)$$

【0010】尚この高強度高靱・延性鋼線において、組織が微細パーライトを主体としたものである場合には、ラメラセメンタイト中のセメンタイト結晶粒の平均粒径Dが前記(1)式または(2)式を満足するものであれば、上記課題が解決できる。

【0011】上記いずれかの高強度高靱・延性鋼線を製造するに当たっては、伸線における真歪εを1.0～★

$$D = -108.7 - 12.9 \times [Si] + 16.4 \times \varepsilon + 0.320 \times T_s - 17.6 \times \log H_s \quad \dots (3)$$

但し、[Si]：鋼線中のSi含有量(質量%)
H_s：T_s-100℃からT_s-20℃間までの平均加熱速度(℃/秒)

【0013】

【発明の実施の形態】本発明者らは、微細パーライト組織からなる鋼ではこれまでに検討されたことのないナノメータ(nm)レベルでの結晶学的立場から研究を重ねてきた。その結果、冷間加工条件や焼戻条件を適切に制御することによって、ラメラセメンタイト形態をナノメータ(nm)レベルのセメンタイト結晶(以下、「ナノ結晶」と呼ぶ)にすることに成功した。そして、図1に示す様に(但し、線径が5mmの結果)、[引張強さ(TS)×絞り]で表現される局部延性能と、ナノ結晶状態のセメンタイトの平均粒径の間には、鋼線の化学成分組成に関わらず、非常に高い相関関係が認められること、および前記セメンタイトの平均粒径を適切にすることによって、高靱性を示して縦割れが発生しなくなること等を見出し、本発明を完成した。即ち、微細パーライト組織からなる鋼線の高強度・高延性バランスを最適化すると共に高靱性を達成するには、ラメラセメンタイト中のナノ結晶状態セメンタイトの平均粒径を適切な範囲

*【課題を解決するための手段】上記課題を解決することのできた本発明とは、微細パーライト、擬似パーライトおよびベイナイトよりなる群から選ばれる1種以上の組織を主体とした鋼線であり、前記組織中の炭化物の平均粒径が10～50nmである点に要旨を有する高強度高靱・延性鋼線である。

【0008】上記高強度高靱・延性鋼線において、組織が微細パーライトを主体としたものである場合には、ラメラセメンタイト中のセメンタイト結晶粒の平均粒径が10～50nmであれば上記課題が解決できる。

【0009】また微細パーライト、擬似パーライトおよびベイナイトよりなる群から選ばれる1種以上の組織を主体とした鋼線であり、前記組織中の炭化物の平均粒径D(μm)と線径R(mm)が、下記(1)式の間関係を満足することによっても、上記課題を解決することができる。

※(2)式の間関係を満足するものであることが好ましい。

★5.0とすると共に、最終均熱温度T_sを700℃以下にして操業する様にすれば良い。またこの製造方法においては、最終均熱温度T_sは300～500℃であることが好ましい。

【0012】また本発明の上記製造方法のより具体的な実施形態としては、平均粒径D(μm)が下記(3)式を満足する様に操業することが挙げられる。

30 に制御すれば良く、これによって更なる高強度且つ高靱・延性を有する高炭素鋼線材が実現できたのである。

【0014】上記ラメラセメンタイトは、学術的には一枚の単結晶と考えられており、ナノ結晶状態を呈することすら、現在までに知られていない。本発明は、ラメラセメンタイトをナノ結晶状態で形態制御するという斬新な着想のもとでなされたものであり、これまでの既存の技術とは、全く違う観点からなされたものである。

【0015】尚これまでも、鋼線の結晶組織に関連する研究もいくつかなされているが、いずれもラメラセメンタイトをナノ結晶状態で形態制御するものではない。例えば、「日本金属学会誌」(第37巻、1973年、第875頁)には、粗大な球状化セメンタイトの下部組織観察を行ない、粗大なセメンタイトにおける下部組織と延性に関して調査されているが、この研究はラメラセメンタイトのナノ結晶状態に関する研究ではない。また「日本金属学会誌」(第40巻、1976年、第874頁)には、粗大なセメンタイトの回復過程に関する研究について発表されているが、熱処理中の転位の回復について捉えたものである。更に、「I S I J」(Vol.17, P 144, 1977, A. Inoue AND T. Masumoto Trans.)には、粗大

なセメンタイトの形態挙動に関する合金元素の影響についての研究がなされているが、冷間加工導入転位密度の増加に及ぼす各種合金元素の影響に関するものであり、やはりナノ結晶状態形態の制御に関する研究ではない。また「日本金属学会誌」(第7巻、第13回学会賞記念講演、1968年、第363~371頁)には、抽出残渣法による検討から、冷間加工によってラメラセメンタイトの球状化が促進されること、および球状化後のラメラセメンタイトの形態は微細且つ均一なものとなるとの報告がなされている。しかしながら、この研究においても、セメンタイトがナノ結晶状態を呈することについては何ら記載されておらず、ましてナノ結晶と機械的性質との関係については定量的な記載は存在しない。

【0016】本発明の鋼線における炭化物の形態を限定した理由について、線径が5mmの鋼線を中心に更に詳

セメンタイトの平均粒径＝

$$\left(\frac{\text{観察した範囲のラメラセメンタイト面積}}{\text{ナノセメンタイト粒数}} \right)^{0.5} \times 1.13 \quad \dots (4)$$

【0018】一方、図4(鋼種Aについて、ブルーイング温度を300℃としたときの金属組織を示す図面代用顕微鏡写真)の様に、写真全体としてナノ結晶の粒界がセメンタイトの平均粒径＝

$$\left[\frac{\text{観察した範囲のナノラメラセメンタイト面積}}{\text{ナノセメンタイト粒数}} \right]^{0.5} \times 1.13 \quad \dots (5)$$

【0019】図5は、セメンタイトの平均粒径と(TS×伸び)との関係を示すグラフであるが、(TS×伸び)で表される高強度・高延性バランスが、セメンタイトの平均粒径が50nmを超えたあたりから急激に低下していることがわかる。こうしたことから、本発明においては、セメンタイトの平均粒径の上限を50nmと規定した。

【0020】ところで、現在までに使用されている長大橋メインケーブル用ワイヤでは、強度と捻回値の夫々の特性に対して、引張強さ：160kgf/mm²以上、および捻回値：14回以上という要求がある。つまり、高強度・高捻回値特性の指標となる(TS×捻回値)は、240(160×14)kgf/mm²以上であることが必要条件となる。セメンタイトの平均粒径と(TS×捻回値)との関係を図6に示すが、上記の要求特性を満足させるためには、セメンタイトの平均粒径を50nm以下にすれば良いことがわかる。こうした観点からも、本発明では、セメンタイトの平均粒径の上限を50nmとした。

【0021】上記の様に本発明では、セメンタイトの平均粒径の上限を50nmと規定したのであるが、この平均粒径の上限は30nm以下であることがより好ましい。この理由は、次の通りである。次世代長大橋メインケーブル用ワイヤでの要求特性として、引張強さが200kgf/mm²級、必要によっては240kgf/mm²級で、捻回値：14回以上、伸び：4%以上が必要

*細に説明する。本発明者らは、まずラメラセメンタイトの粒径の観察を行なった。このとき、抽出残渣法によってラメラセメンタイトを抽出し、TEMによって観察した。また、倍率は150000倍とし、下記の(1)式または(2)式に従って、写真20枚の粒径を測定し、平均値でもって評価した。

【0017】図2および図3は、後記実施例に示す鋼種Aについて、ブルーイング処理温度を夫々425℃、475℃としたときの金属組織を示す図面代用顕微鏡写真である。この図2および図3の様に、ラメラセメンタイト全体にナノ結晶の粒界が明らかに観察できた場合には、その形態として単位面積当たりのラメラセメンタイト中に存在するセメンタイト結晶の粒数から、下記(4)式に従ってセメンタイトの平均粒径を求めた。

※確認しにくいときは、結晶粒界がはっきりとした粒子の総面積と粒数から下記(5)式に従って、セメンタイトの平均粒径を求めた。

であると言われている。即ち、(TS×捻回値)が3360(240×14)kgf/mm²以上、(TS×伸び)が9.6(240×0.04)kgf/mm²以上必要である。こうした要求特性を満足するためには、前記図5および図6から、セメンタイトの平均粒径を30nm以下にすれば良いことがわかる。こうしたことから、本発明では、セメンタイトの平均粒径の好ましい上限を30nmとした。

【0022】また前記図6によれば、セメンタイトの平均粒径が10nmよりも小さくなると、(TS×捻回値)が急激に低下し始め、ときとして縦割れが発生している(●印、■印)。こうした傾向は、前記図1および図5においても同様である。こうしたことから本発明では、セメンタイトの平均粒径の下限を10nmと規定した。

【0023】上記の如く、微細パーライト組織からなる5mmφ鋼線においては、ラメラセメンタイト中のセメンタイトの平均粒径を10~50nmと規定することによって、高強度且つ高靱・延性が達成されたのであるが、本発明者らが検討したところによると、このような傾向は鋼線の組織が微細パーライト組織からなる鋼線に限らず、擬似パーライトやベイナイトを主体とする組織或は組織として含む鋼線においても見られ、その炭化物[通常のセメンタイト(Fe₃C)の他、Cr等の合金元素を固溶したセメンタイトも含む]の平均粒径を10~50nmと制御することによって、高強度且つ高靱・

7

延性が達成されることが分かった。またこのときにおいても、炭化物の平均粒径の好ましい範囲は、10～30 nmである。こうしたことから、本発明における鋼線における組織は、微細パーライトに限らず、擬似パーライトやベイナイトを含む趣旨であり、これらの組織の1種以上の組織を主体とするものであれば良い。尚主体となる組織以外の残部の組織については、特に限定されるものではなく、例えばフェライト等が挙げられる。

【0024】以上の結果は、線径が5 mmの鋼線の場合のものであって、鋼線の機械的性質、特に捻回特性は線径依存性があることが知られており、炭化物の適切な範囲も線径依存性があると予想される。事実、上記の結果においては、セメントナイト（前記「炭化物」を含む、以下同じ）の平均粒径が10 nm以下になると却って強度が高くなり過ぎて縦割れが発生し始めていたのであるが（前記図1, 5, 6）、線径が0.2 mmの様な極細線では、セメントナイトの平均粒径が10 nm未満であっても縦割れは発生しなかった。

【0025】上記の現象が生じる理由については、その全てを解明し得た訳ではないが、本発明者らが検討したところによると、次の様に考察できた。線径が0.2 mmと5 mmの鋼線について、セメントナイトの平均粒径がほぼ同程度のときの暗視野像を比較したところ、線径が0.2 mmの鋼線ではセメントナイトが全面に且つ均一に超微細化していると推察できたのであるのに対し、線径が5 mmの鋼線ではセメントナイトは部分的に超微細化しているだけで、全体としての結晶粒分布は不均一であった。即ち、セメントナイトの平均粒径がほぼ同じであっても、線径が0.2 mmの極細線では、粒度分布が比較的均一な組織であるために、超微細化しても縦割れという問題は生じないと考えられる。本発明者らは上記知見に基づき、前記線径依存性も考慮しつつ、セメントナイトの平均粒径が鋼線の機械的性質に与える影響について更に鋭意研究を重ねた。

【0026】ところが、本発明者らが上記研究を進めていく中で、次の様な不都合に遭遇した。即ち、ラメラセメントナイトの超微細構造を評価するには、前記（5）式によらずにできるだけ実際の組織を観察することが必要であるが、通常の薄膜によるTEM観察で全くその構造を評価することはできなかったのである。通常の抽出レプリカ法等では、試料のハンドリング中にラメラセメントナイトに機械的なダメージを与える可能性があり、最終的に得られる炭化物が抽出前の組織のままである保証がない。通常の抽出残渣法を用いてラメラセメントナイトの超微細構造を評価しようとしても、通常の抽出残渣工程で行われる超音波洗浄をしてしまうと、セメントナイトの外形が崩壊してしまい、内部構造にも機械的なダメージが与えられて、抽出前の組織とは著しく異なってしまった。また超音波洗浄を行わずに抽出残渣した炭化物をTEM観察したところ、結晶粒が20 nm以下ではその超

8

微細構造が非常に判別し難く、超微細構造と機械的性質の関連を議論することができなかった。更に、TEMで分解能を上げるために加速電圧を上げていくと、抽出された炭化物は電子線による照射損傷の為に、抽出前の組織とは異なってしまった。こうしたことから加速電圧を上げずに、高分解能が得られる電解放射型TEMを用いて評価する試みも行ったが、超微細構造が10 nm以下になると評価することは困難であった。

【0027】そこで本発明者らは、まず超微細構造を解析する為の手段について様々な角度から検討した。その結果、放射線を用いて結晶粒の評価を行ったところ、結晶粒が20 nm以下の超微細構造についても詳細な解析を行うことができることを見出した。またラメラセメントナイトの板厚は数十nmと非常に薄いので、放射線の材料に対する吸収係数に関わらず、十分な積分強度を得ることができた。こうしたことからこの超微細構造解析法では、各種の放射線を利用することができる。この放射線として、最も簡便に得られるのは、例えばX線であるが、その他の放射線を利用しても、構造解析を行うという意味では何ら問題はない。

【0028】本発明者らは、上記超微細構造解析法を適用して超微細な結晶粒領域も含め、線径Rやセメントナイトの平均粒径Dが鋼線の機械的性質に与える影響について綿密な調査を行った。その結果を図7に示す。

【0029】図7から明らかな様に、(TS×伸び)不足を生じることなく且つ縦割れを発生させることなく希望する特性の鋼線を得る為には、前記（1）式を満足させる様にすれば良いことが分かる。またこの図7から分かる様に、前記（1）式を満足していれば、セメントナイトの平均粒径Dが10 μm未満または50 μmを超えても良いものである。尚前記図5からして、平均粒径Dが30 μm以下（線径Rが5 mmの場合）のときに(TS×伸び)の値が優れているので、前記（2）式を満足することがより好ましいことが分かる。

【0030】次に、本発明で規定する製造条件について説明する。本発明方法においては、上記の様な高強度高靱・延性鋼線を製造する為の条件として、伸線における真歪εを1.0～5.0とすると共に、最終均熱温度T_hを700℃以下にして操業する様にしている。まず伸線材やブルーイング材として、十分な強度を得るためには前記真歪εを1.0以上とする必要がある。また過度に伸線を行うと、強度が上昇し過ぎて縦割れが発生するので、真歪εの上限を5.0とする必要がある。

【0031】一方、最終均熱温度T_hについては、この温度が700℃を超えると鋼種によっては、γ変態を起こして伸線によって得られた微細で配向性のあるパーライト組織が崩壊するために機械的性質が劣化してしまうので、その上限を700℃とした。また最終均熱温度T_hが500～700℃となると、数秒間では球状化が無視でき、引張強度、伸び、絞り、捻回値等も極端に低下

しないのであるが、この温度域に不用意に長時間曝すると球状化が無視できなくなり、引張強度、伸び、絞り、捻回値等も極端に低下する恐れがある。また300℃未満になると、熱処理で延性が十分に回復しなくなることがある。こうしたことから、最終均熱温度T₁の好ましい範囲は、300～500℃程度である。

【0032】本発明者らは、表1～7に示す通り、各種製造条件とセメントの平均粒径Dとの相関関係を重回帰分析等を用いることにより整理した。その結果、前記(3)式で規定される平均粒径は、測定によって得られたセメントの平均粒径Dと明らかな相関関係があることが認められた。即ち、線径Rに応じて希望するセメント平均粒径Dを得るためには、該平均粒径Dが前記(3)式を満足する様に、鋼線中のSi含有量や前記平均加熱速度H₁を制御すれば良いことが判明したのである。

【0033】図8は線径Rが5mmのときのSi%、前記平均加熱速度H₁と平均粒径D(図中の数字は平均粒径Dを示す)の関係を示している。そして、前記(1)式を満足する領域を点線で示す。また、図9、図10は、夫々線径Rが0.2mm、1.0mmの場合の図である。尚これらの結果は、後記実施例の表1～7のデータに基づくものである。これらの図から、夫々の線径Rに応じて平均粒径Dには最適な範囲があり、この平均粒径Dを製造条件との関係で整理すると、前記(3)式の*

*如くになったのである。

【0034】尚本発明の鋼線において、その組織を微細パーライトを主体としたものにするには、熱間圧延後直接パテンティング処理し、もしくは再オーステナイト化後パテンティング処理することによって達成される。また擬似パーライトやベイナイト等の組織にするには、パーライト組織にする場合とほぼ同様であるが、パテンティング処理時の温度を適当に調整すれば良い。

【0035】以下本発明を実施例によって更に詳細に説明するが、下記実施例は本発明を限定する性質のものではなく、前・後記の趣旨に適合し得る範囲で適当に変更を加えて実施することも勿論可能であり、それらはいずれも本発明の技術的範囲に含まれるものである。

【0036】

【実施例】

実施例1

下記表1に示す化学成分の高炭素鋼を供試鋼(A～E)として使用し、熱間圧延して直径11～14mmの鋼線とした後、鉛パテンティング処理してから所定の加工率で冷間伸線加工を行った。このときの鉛パテンティング処理条件は、再加熱950℃×5分→恒温変態540～500℃×4分である。

【0037】

【表1】

供試鋼	化 学 成 分 (重量%)					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
A	0.87	1.21	0.72	0.006	0.004	—
B	0.80	0.38	0.87	0.004	0.006	—
C	0.85	1.19	0.52	0.001	0.001	0.29
D	0.58	0.18	0.49	0.004	0.005	—
E	0.95	1.21	0.75	0.004	0.006	—

【0038】次いで、鋼線を目線径である5.0mm(減面率:71.0～87.2)にまで連続伸線した。このとき、ダイス出口で鋼線を冷却し、鋼線温度を170℃以下に保った。その後、直線加工し、更にめっき時の昇温処理をシミュレートする為に、300～500℃でブルーイング処理を施した。得られた鋼線における炭

化物の平均粒径および主体組織をブルーイング処理温度と共に表2に示す。また各鋼線の機械的性質を表3に示す。

【0039】

【表2】

No.	供試鋼種	加熱速度 (℃/秒)	ブルーイング 処理温度 (℃)	伸線歪	炭化物の 平均粒径 (nm)	線 径 (mm)	組 織	備 考
1	A	3.2	300	1.79	8.4	5.0	パーライト	比較例
2	A	3.2	350	1.79	9.2	5.0	パーライト	比較例
3	A	3.2	400	1.79	10.6	5.0	パーライト	実施例
4	A	3.2	425	1.79	22.3	5.0	パーライト	実施例
5	A	3.2	450	1.79	30.0	5.0	パーライト	実施例
6	A	3.2	475	1.79	37.8	5.0	パーライト	実施例
7	A	3.2	500	1.79	51.8	5.0	パーライト	比較例
8	A	3.2	300	1.79	8.1	5.0	ベイナイト	比較例
9	A	3.2	425	1.79	24.3	5.0	ベイナイト	実施例
10	A	3.2	500	1.79	52.8	5.0	ベイナイト	比較例
11	B	3.2	300	1.79	8.6	5.0	パーライト	比較例
12	B	3.2	350	1.79	12.5	5.0	パーライト	実施例
13	B	3.2	450	1.79	50.9	5.0	パーライト	比較例
14	C	3.2	350	1.79	8.3	5.0	パーライト	比較例
15	C	3.2	400	1.79	11.3	5.0	パーライト	実施例
16	C	3.2	450	1.79	27.2	5.0	パーライト	実施例
17	C	3.2	500	1.79	50.8	5.0	パーライト	比較例
18	D	3.2	300	1.79	8.7	5.0	パーライト	比較例
19	D	3.2	400	1.79	13.8	5.0	パーライト	実施例
20	D	3.2	425	1.79	42.4	5.0	パーライト	実施例
21	D	3.2	450	1.79	53.8	5.0	パーライト	比較例
22	E	3.2	300	1.79	8.4	5.0	パーライト	比較例
23	E	3.2	425	1.79	19.8	5.0	パーライト	実施例
24	E	3.2	450	1.79	31.2	5.0	パーライト	実施例
25	E	3.2	500	1.79	53.1	5.0	パーライト	比較例

【0040】

【表3】

No.	降伏点 (kgf/mm ²)	引張強さ TS (kgf/mm ²)	伸 び (%)	絞 り (%)	TS×伸び (kgf/mm ²)	TS×絞り (kgf/mm ²)	縦割れ	備考
1	199.8	229.1	3.5	46.9	8.0	107.4	有	比較例
2	191.5	224.1	4.9	46.3	10.9	103.8	有	比較例
3	180.6	217.7	5.7	45.1	12.4	98.2	有	実施例
4	173.7	214.2	5.8	43.4	12.4	93.0	無	実施例
5	165.2	204.5	5.4	37.2	11.0	76.1	無	実施例
6	159.9	197.9	5.4	34.9	10.7	69.1	無	実施例
7	150.7	181.1	4.8	31.7	8.9	57.4	無	実施例
8	187.4	218.4	4.1	50.2	9.0	109.6	有	比較例
9	155.7	193.7	6.4	47.2	12.4	91.4	有	実施例
10	140.4	170.9	5.2	40.2	8.9	68.7	有	比較例
11	125.4	173.7	4.4	50.0	7.6	86.9	有	比較例
12	117.6	170.0	5.9	51.0	10.0	86.7	無	実施例
13	109.7	156.2	5.0	44.1	7.8	68.9	無	比較例
14	204.9	214.1	3.9	51.7	8.3	110.7	有	比較例
15	188.9	209.8	5.8	50.7	12.2	106.4	有	実施例
16	169.9	197.8	5.8	42.8	11.5	84.7	有	実施例
17	151.6	177.0	4.6	39.8	8.1	70.4	有	比較例
18	95.7	132.4	4.3	63.5	5.7	84.1	無	比較例
19	88.2	124.3	7.9	65.7	9.8	81.7	無	実施例
20	80.4	108.3	8.0	51.4	8.7	55.7	無	実施例
21	71.2	99.7	7.2	47.2	7.2	47.1	無	比較例
22	215.0	227.1	3.5	41.8	7.9	94.9	有	比較例
23	197.6	219.3	5.3	49.8	11.6	109.2	有	実施例
24	180.8	214.5	4.6	42.2	9.9	90.5	有	実施例
25	155.1	182.7	4.1	28.1	7.5	51.3	無	比較例

【0041】表1～3より次の様に考察できる。まず供試鋼Aは、Siを1.21%添加した鋼種であり、ブルーイング処理温度が350℃以下のパーライト鋼線（No. 1, 2）では、炭化物（ナノセメンタイト）の平均粒径が10nm未満となるので、縦割れを伴って捻回不良となっている。このうちブルーイング処理温度が300℃のパーライト鋼線（No. 1）では、(TS×伸び)の値も8.0kgf/mm²となり、強度－伸びバランスが低下している。またブルーイング処理温度が500℃のパーライト鋼線（No. 7）では、炭化物の平均粒径が51.8nmと粗大化しており、(TS×伸び)が劣化している。これに対し、同じ供試鋼Aを用いても、ブルーイング処理温度が400～475℃のパーライト鋼線（No. 3～6）は、炭化物の平均粒径が本発明で規定する適切な範囲内にあるので、(TS×伸び)が優れた値を示している。

【0042】一方、鋼線No. 8～10のものは、上記供試鋼Aを用いてベイナイト組織に製造したものであるが、ブルーイング処理温度が300℃のベイナイト鋼線（No. 8）では、炭化物（ナノセメンタイト）の平均粒径が10nm未満となるので、縦割れが発生し、(TS×伸び)も劣っている。またブルーイング処理温度が500℃のベイナイト鋼線（No. 10）では、炭化物の平均粒径が52.8nmと粗大化しており、(TS×伸び)の値が劣化している。これに対し、同じ供試鋼Aを用いても、ブルーイング処理温度が425℃のベイナイト鋼線（No. 9）は、炭化物の平均粒径が本発明で規定する適切な範囲内にあるので、(TS×伸び)は優れた値を示している。

【0043】供試鋼Bは、Siを添加していない鋼種であり、ブルーイング処理温度が300℃のパーライト鋼線（No. 11）では、炭化物（ナノセメンタイト）の平均粒径が10nm未満となるので、(TS×伸び)の値が劣化している。またブルーイング処理温度が450℃のパーライト鋼線（No. 13）では、炭化物の平均粒径が50.9nmと粗大化しており、(TS×伸び)の値が劣化している。これに対し、同じ供試鋼Bを用いても、ブルーイング処理温度が350℃のパーライト鋼線（No. 12）は、炭化物の平均粒径が本発明で規定する適切な範囲内にあるので、(TS×伸び)が優れた値を示している。

【0044】供試鋼Cは、Crを0.29%添加した鋼種であり、ブルーイング処理温度が350℃のパーライト鋼線（No. 14）では、炭化物（ナノセメンタイト）の平均粒径が10nm未満となるので、縦割れを伴って捻回不良となっている。またブルーイング処理温度が500℃のパーライト鋼線（No. 17）では、セメンタイトの平均粒径が50.8nmと粗大化しており、(TS×伸び)の値が劣化している。これに対し、同じ供試鋼Cを用いても、ブルーイング処理温度が400～

450℃のパーライト鋼線（No. 15, 16）は、炭化物の平均粒径が本発明で規定する適切な範囲内にあるので、(TS×伸び)が優れた値を示している。

【0045】供試鋼Dは、CおよびSiを低減した鋼種であり、ブルーイング処理温度が300℃のパーライト鋼線（No. 18）では、炭化物（ナノセメンタイト）の平均粒径が10nm未満となり、縦割れは起きなかったが、(TS×伸び)の値が劣化している。またブルーイング処理温度が450℃のパーライト鋼線（No. 21）では、炭化物の平均粒径が53.8nmと粗大化しており、(TS×伸び)の値が劣化している。これに対し、同じ供試鋼Dを用いても、ブルーイング処理温度が400℃および425℃のパーライト鋼線（No. 19, 20）では、(TS×伸び)が優れた値を示している。

【0046】供試鋼Eは、C量が0.97%の高C添加鋼種であり、ブルーイング処理温度が300℃のパーライト鋼線（No. 22）では、炭化物（ナノセメンタイト）の平均粒径が10nm未満となり、縦割れを伴って捻回不良となっている。またブルーイング処理温度が500℃のパーライト鋼線（No. 25）では、炭化物の平均粒径が53.1nmと粗大化しており、(TS×伸び)の値が劣化している。これに対し、同じ供試鋼Eを用いても、ブルーイング処理温度が425℃および450℃のパーライト鋼線（No. 23, 24）では、(TS×伸び)が優れた値を示している。

【0047】実施例2

前記した工程によって線径を5mmに伸線した鋼種A、Bのものについて、更に、鉛パテンティングに供した（鉛パテンティング条件：再加熱 950℃×5分→恒温変態 540～500℃×4分）。これらの鋼線を目標線径である1.0mm（減面率：71.0～87.2%）の範囲まで連続伸線した。このときすべてのダイスの出口において線材を冷却し、線材温度を170℃以下に維持した。その後、直線加工し、300～500℃でブルーイング処理を施した。

【0048】引き続き、上記と同様にして、鉛パテンティングに供し、プラスめっきを施してから、伸線を行った。これらの鋼線を目標線径である0.2mm（減面率：71.0～87.2%）の範囲まで湿式で連続伸線した。その後、直接加工の後に300～500℃の範囲のブルーイングを施した。

【0049】得られた鋼線における炭化物の平均粒径および主要組織をブルーイング処理温度と共に表4に示す。また各鋼線の機械的性質を表5に示す。尚表4および表5には、鋼種Bについて線径を1.0mmにした段階での結果についても示した。

【0050】

【表4】

15

16

No.	供試鋼種	加熱速度 (℃/秒)	ブルーイング 処理温度 (℃)	伸線歪	炭化物の 平均粒径 (nm)	線 径 (mm)	組 織	備 考
26	A	79.4	300	3.6	2.8	0.2	パーライト	比較例
27	A	79.4	400	3.6	24.3	0.2	パーライト	実施例
28	A	79.4	500	3.6	54.3	0.2	パーライト	比較例
29	B	79.4	300	3.6	8.6	0.2	パーライト	実施例
30	B	79.4	350	3.6	12.5	0.2	パーライト	実施例
31	B	79.4	450	3.6	49.5	0.2	パーライト	比較例
32	B	12.6	300	2.2	4.8	1.0	パーライト	比較例
33	B	12.6	350	2.2	8.6	1.0	パーライト	実施例
34	B	12.6	400	2.2	12.5	1.0	パーライト	実施例
35	B	12.6	425	2.2	36.8	1.0	パーライト	実施例
36	B	12.6	500	2.2	50.8	1.0	パーライト	比較例

【0051】

* * 【表5】

No.	降伏点 (kgf/mm ²)	引張強さ TS (kgf/mm ²)	伸 び (%)	絞 り (%)	TS×伸び (kgf/mm ²)	TS×絞り (kgf/mm ²)	縦割れ	備考
26	379.1	419.2	2.5	36.9	10.5	154.7	有 り	比較例
27	352.7	394.4	4.8	33.4	18.9	131.7	無 し	実施例
28	321.8	338.3	1.8	13.4	6.1	45.3	無 し	比較例
29	305.4	353.1	3.4	43.5	12.0	153.6	無 し	実施例
30	294.6	350.2	4.9	41.0	17.2	143.6	無 し	実施例
31	261.2	280.4	1.9	14.3	5.3	40.1	無 し	比較例
32	222.3	284.6	2.9	47.3	8.3	134.6	有 り	比較例
33	215.7	274.7	3.4	44.6	9.3	122.5	無 し	実施例
34	203.8	267.1	4.8	42.0	12.8	112.2	無 し	実施例
35	194.6	254.6	4.4	27.5	11.2	70.0	無 し	比較例
36	183.2	243.8	2.0	15.1	4.9	36.8	無 し	実施例

【0052】表4、5より次の様に考察できる。No. 26～28のものは鋼種Aを0.2mmまで伸線したものである。線径が0.2mmのときに(3)式によって求められる平均粒径Dの下限値が3.1nm(図9)であるのに対し、ブルーイング処理温度が300℃のものは平均粒径Dが2.8nmと小さい為に、縦割れが発生している。500℃処理材では、(3)式によって求められる平均粒径の上限が43.1nm(図9)であるのに対し、54.3nmと大きい為に、(TS×伸び)が6.1kgf/mm²と9.6kgf/mm²を下回っていた。

【0053】No. 29～31のものは、鋼種Bを0.2mmまで伸線したものである。300℃処理材では(3)式を満足するものであったので(図9)、縦割れもなく、(TS×伸び)も12.0kgf/mm²と下限値9.6kgf/mm²以上であった。450℃処理材では粒径は(3)式で求められる上限値である43.1nm(図9)に対し、54.3nmと大きい為に、

(TS×伸び)が5.3kgf/mm²と下限値9.6kgf/mm²を下回っていた。

【0054】No. 32～36のものは鋼種Bを1.0mmまで伸線したものである。300℃処理材の粒径は(3)式によって求められる上限値である46.6nm(図10)に対し、4.8nmと小さい為に縦割れが発生していた。また、(TS×伸び)が8.3kgf/mm²と9.6kgf/mm²を下回っていた。

【0055】500℃処理材では粒径は(3)式によって求められる下限値である46.6nm(図10)に対し、50.8nmと大きい為に、(TS×伸び)が4.9kgf/mm²と9.6kgf/mm²を下回っていた。

【0056】実施例3

上記した条件と同様にして線径を1.0mmまでに伸線したときに、加熱速度、伸線加工歪(真歪ε)を変化させて、(3)式の右辺の値を変化させた場合について調査した。得られた鋼線における炭化物の平均粒径および

主体組織をブルーイング処理温度と共に表6に示す。ま * 【0057】

た鋼線の機械的性質を表7に示す。 * 【表6】

No.	供試 鋼種	加熱速度 (℃/秒)	ブルーイン グ処理温度 (℃)	伸線歪	炭化物の 平均粒径 (nm)	(3) 式の 右辺の値	線 径 (mm)	組 織	備 考
37	B	12.6	350	2.2	12.5	15.0	1.0	パーライト	実施例
38	B	12.6	350	1.6	4.9	5.2	1.0	パーライト	比較例
39	B	12.6	425	2.2	36.8	39.0	1.0	パーライト	実施例
40	B	12.6	425	3.2	53.9	55.4	1.0	パーライト	比較例
41	B	12.6	450	2.2	50.8	63.0	1.0	パーライト	比較例
42	B	1.0	450	2.2	52.7	66.4	1.0	パーライト	比較例
43	B	12.6	450	2.2	36.8	39.0	1.0	パーライト	実施例
44	B	12.6	450	2.2	36.7	29.4	1.0	パーライト	実施例

【0058】

※ ※ 【表7】

No.	降伏点 (kgf/mm ²)	引張強さ TS (kgf/mm ²)	伸 び (%)	絞 り (%)	TS×伸び (kgf/mm ²)	TS×絞り (kgf/mm ²)	縦割れ	備考
37	215.7	274.7	3.4	44.6	9.3	122.5	無 し	実施例
38	183.1	203.7	4.3	68.2	8.8	138.9	無 し	比較例
39	194.6	254.6	4.4	27.5	11.2	70.0	無 し	実施例
40	204.6	263.7	3.2	24.2	8.4	63.8	無 し	比較例
41	183.2	243.8	2.0	18.2	4.9	44.4	無 し	比較例
42	181.6	238.6	3.5	24.3	8.4	62.5	無 し	比較例
43	194.6	254.6	4.4	27.5	11.2	70.0	無 し	実施例
44	223.4	268.1	4.9	32.7	13.1	87.7	無 し	実施例

【0059】これらの結果から、次の様に考察できる。

まず伸線加工率を変化させた場合について説明する。ブルーイング処理温度が350℃の場合でも伸線歪を2.2から1.6へと小さくし、(3)式の右辺の値が5.2となる様にして線径1.0mmでの下限値以下にすると、(TS×伸び)が8.8kgf/mm² となって (TS×伸び) 不足となり、また、平均粒径も4.9nm以下となる。また425℃ブルーイング処理の場合でも、伸線歪を2.2から3.2へと大きくし、(3)式の右辺の値が55.4nmとなる様にして線径1.0mmでの上限値以上にすると、(TS×伸び)が8.4kgf/mm² と (TS×伸び) 不足となり、また平均粒径Dも53.9nm以上となる。

【0060】次に、平均加熱速度H_Rを変化させた場合について説明する。ここで最終均熱温度をT_Bとしたときに、H_RはT_B-100℃からT_B-20℃間の平均加熱速度である。均熱温度をブルーイング処理温度450℃に揃えて、加熱速度が12.6℃/秒から1.0℃/秒と遅くすると、(3)式の右辺の値が66.4と線径1.0mmのときの上限值を超えている。この場合、(TS×伸び)が8.4kgf/mm² となって (TS×伸び) が劣化している。また加熱速度を126.0℃/秒と速くすると、(3)式の右辺の値が29.4とな

って線径1.0mmでの適切な範囲内に入り、機械的性質も優れていることが分かる。

【0061】

【発明の効果】本発明は以上の様に構成されており、鋼線における組織の炭化物の平均粒径をナノメートルレベルで適切な範囲に制御することによって、希望する高強度且つ高延性の鋼線を得ることができ、この鋼線はPC鋼線、亜鉛めっき鋼線、ばね用鋼線、吊り橋用ケーブル等の素材として最適である。

【図面の簡単な説明】

【図1】線径が5mmの鋼線におけるセメントタイトの平均粒径と (TS×絞り) との関係を示すグラフである。

【図2】鋼種Aにおいて、ブルーイング温度を425℃としたときの金属組織を示す図面代用顕微鏡写真である。

【図3】鋼種Aにおいて、ブルーイング温度を475℃としたときの金属組織を示す図面代用顕微鏡写真である。

【図4】鋼種Aにおいて、ブルーイング温度を300℃としたときの金属組織を示す図面代用顕微鏡写真である。

【図5】線径が5mmの鋼線におけるセメントタイトの平均粒径と (TS×伸び) との関係を示すグラフである。

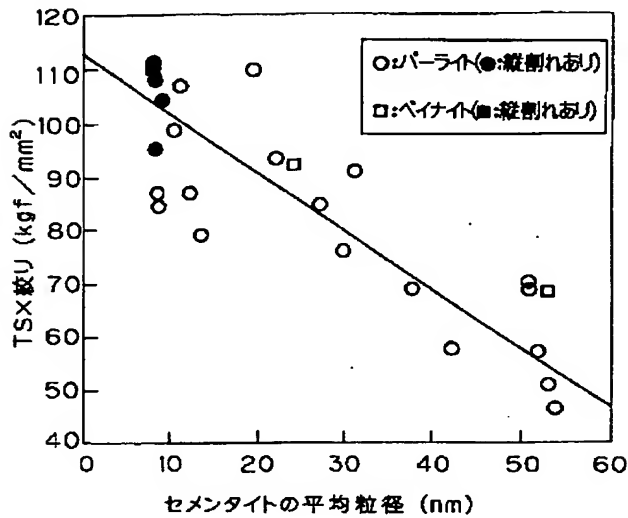
19

【図6】線径が5mmの鋼線におけるセメンタイトの平均粒径と(TS×捻回値)との関係を示すグラフである。

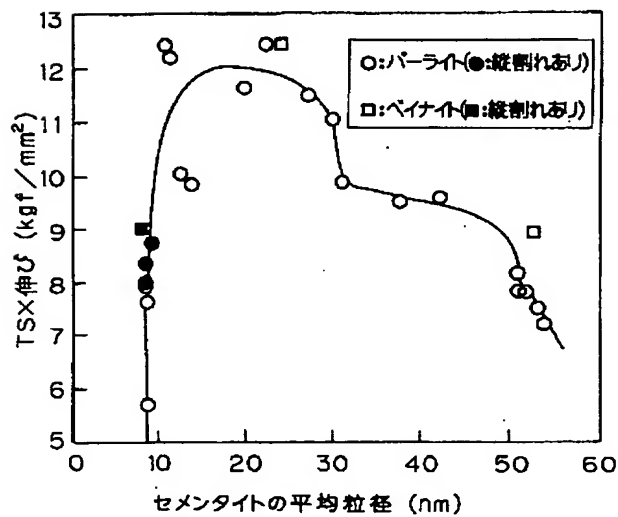
【図7】線径Rやセメンタイトの平均粒径Dが鋼線の機械的性質に与える影響を示すグラフである。

【図8】線径が5mmのときのSi量、加熱速度および

【図1】



【図5】



20

平均粒径Dの関係を示すグラフである。

【図9】線径が0.2mmのときのSi量、加熱速度および平均粒径Dの関係を示すグラフである。

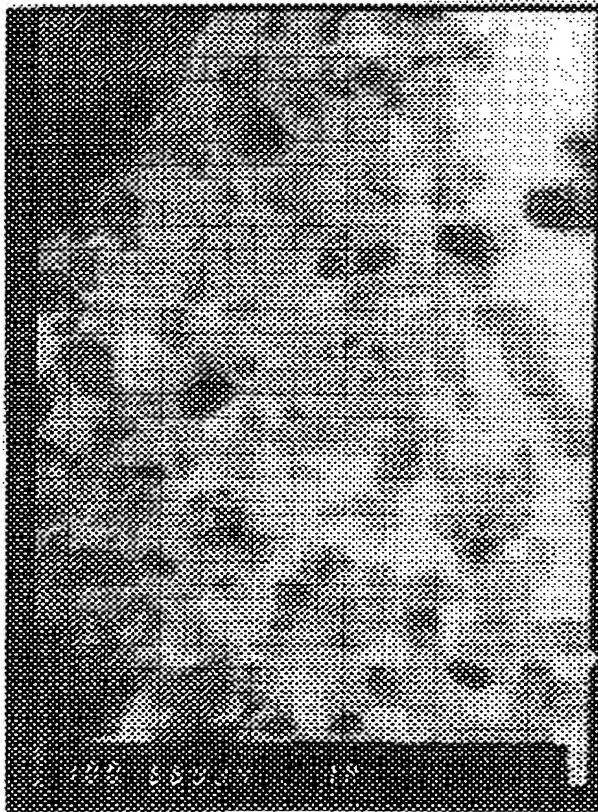
【図10】線径が1.0mmのときのSi量、加熱速度および平均粒径Dの関係を示すグラフである。

【図2】



【図3】

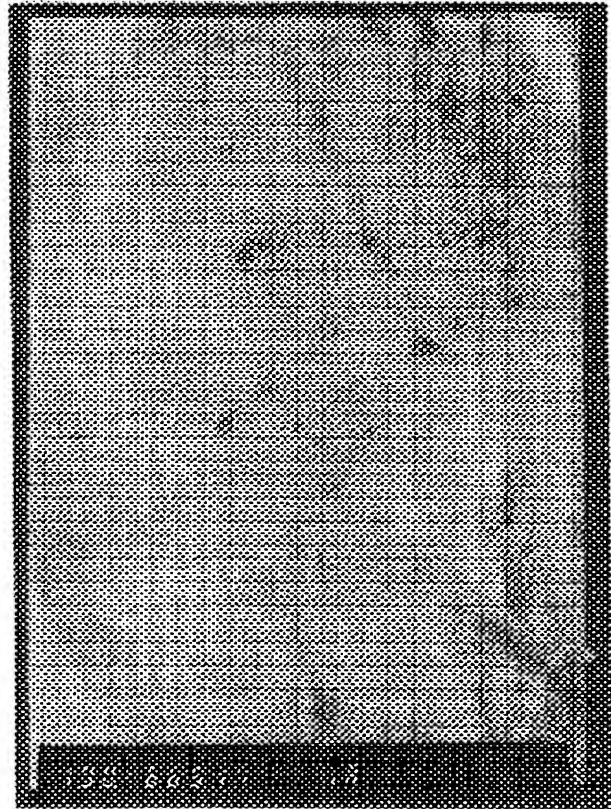
(焼結A. 475°C)



100μm

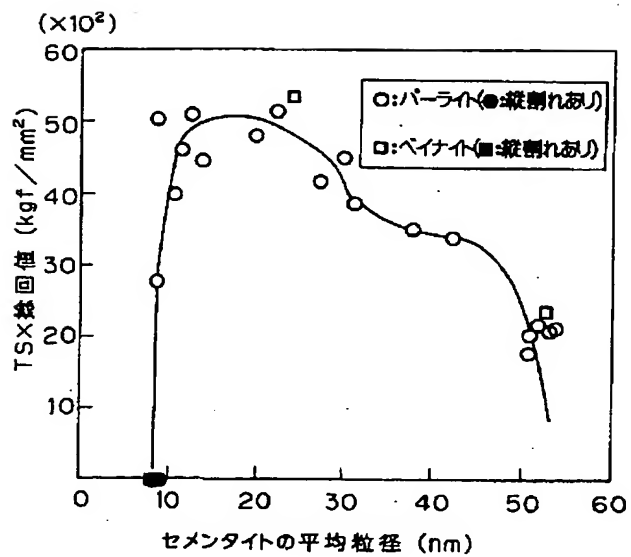
【図4】

(焼結A. 900°C)

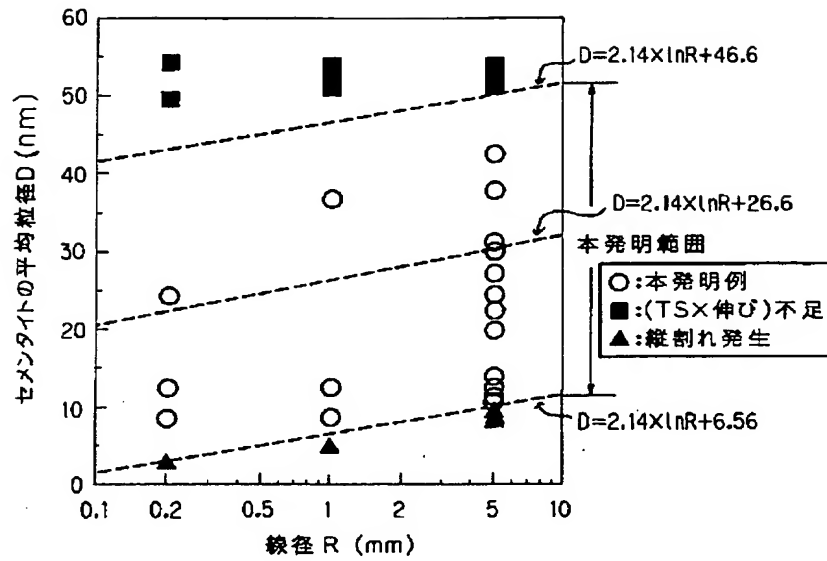


100μm

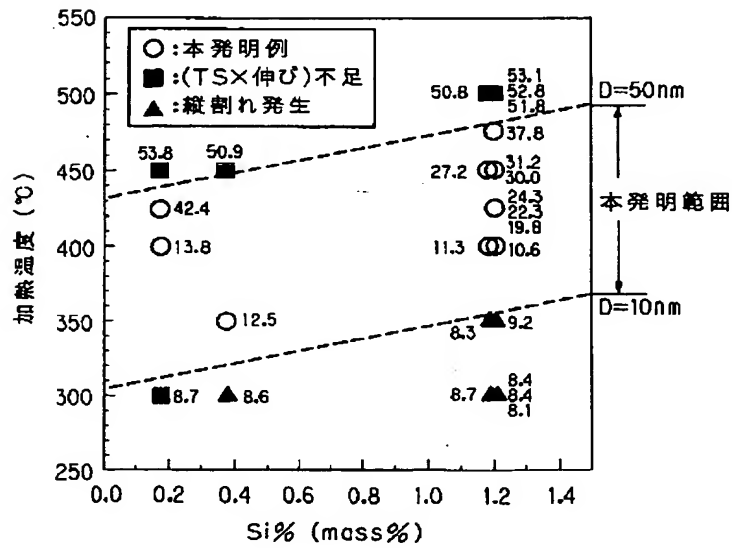
【図6】



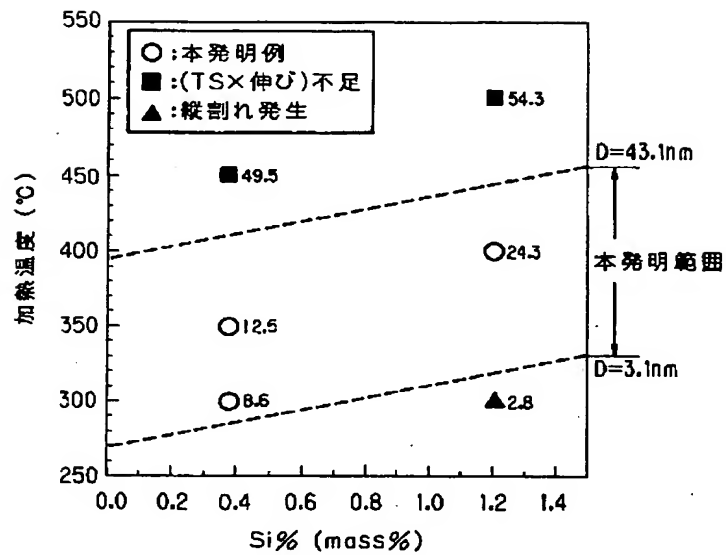
【図7】



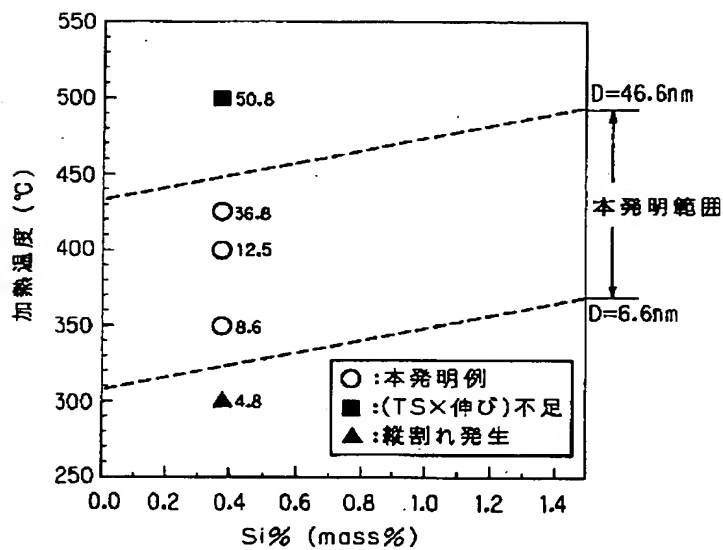
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 宮本 淳之
 兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5番5号
 株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.